

5. Boshansky, M. Volba geometrickych parametrov konvexno-konkavneho ozubenja z hladiska povrchoveho poskodenia bonu zuba [Text] / M. Boshansky. — SJF STU, Bratislava, 1997. — 104 p.
6. Veres, M. Teoria celneho rovinneho ozubenja [Text] / M. Veres, M. Boshansky. — STK Bratislava, 1999. — 112 p.
7. Veres, M. Theory of Convexo-concave and plane cylindrical gearing [Text] / M. Veres, M. Boshansky, J. Gachis. — Slovak university of technology, Bratislava, 2006. — 180 p.
8. Litvin, F. Gear Geometry and Applied Theory [Text] / F. Litvin, A. Fuentes. — Ed. 2. — Cambridge University, 2004. — 125 p.
9. Boshansky, M. Posudenie vhodnosti pouzitia Sortveru v prevnostney analize ozubenych kolies metodom MKP [Text] / M. Boshansky, J. Medzihradsky. — Acta Mechanica Slovaca, Kosice, 2007. — P. 45–53.
10. Шишов, В. П. Критерии оценки работоспособности передач зацеплением [Текст] / В. П. Шишов, Д. А. Панкратов, А. А. Муховатый // Вісник НТУ «ХПІ». — Харків: НТУ «ХПІ», 2001. — № 12. — С. 33–40.

ХАРАКТЕР КОНТАКТУ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЦІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПЕРЕДАЧ З КОНХОІДАЛЬНОЮ ЛІНІЄЮ ЗАЧЕПЛЕННЯ

Отримано умови, що визначають характер контакту робочих поверхонь зубців з кохоідалльною лінією зачеплення залежно від геометричних параметрів вихідного контуру. Визначено параметри вихідних контурів, що забезпечують опукло-увігнутий контакт зубців і контакт двох опуклих зубців пари зачеплення. Надано рекомендації з визначення параметрів вихідного контуру залежно від характеру контакту робочих поверхонь циліндричних прямозубих передач.

Ключові слова: зубчата передача, поверхня, профіль, зуб, контур, контакт, конхоідална лінія зачеплення.

Сапронова Светлана Юрьевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания и машиноведения, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Украина, **e-mail: doc_sapronova@mail.ru**.
Муховатый Александр Анатольевич, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра двигателей внутреннего сгорания и машиноведения, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Украина, **e-mail: mukhovatyi@mail.ru**.
Ткаченко Виктор Петрович, доктор технических наук, профессор, кафедра автоники и управления на транспорте, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Украина, **e-mail: v.p.tkachenko@mail.ru**.

Сапронова Світлана Юрійвна, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання і машинознавства, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Україна.

Муховатий Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра двигунів внутрішнього згорання і машинознавства, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Україна.

Ткаченко Віктор Петрович, доктор технічних наук, професор, кафедра автоники і управління на транспорті, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Україна.

Sapronova Svitlana, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ukraine, **e-mail: doc_sapronova@mail.ru**.

Mukhovatyi Oleksandr, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ukraine, **e-mail: mukhovatyi@mail.ru**.

Tkachenko Viktor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ukraine, **e-mail: v.p.tkachenko@mail.ru**.

УДК 621.311.4.031

**Сінчук О. М.,
Бойко С. М.**

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМНОЇ УСТАНОВКИ В ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

Проаналізована специфіка роботи вітроенергетичного комплексу в умовах діючих підземних виробок залізорудних шахт. Досліджено аеродинамічні особливості вентиляційних потоків підземних виробок залізорудних шахт та їх вплив на роботу вітроенергетичної установки. Розроблена структура електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності електропостачання споживачів електричної енергії підземних виробок залізорудних шахт.

Ключові слова: вітроенергетична установка, енергетичний комплекс, економічна ефективність, електромеханічний вітроенергетичний комплекс.

1. Вступ

У зв'язку із стійкою тенденцією щорічного збільшення споживання електричної енергії (ЕЕ), зростанням цін на її виробництво, а також впливом екологічних обмежень, що постійно зростають, все більш актуальним стає завдання збільшення об'ємів отримання ЕЕ шляхом використання поновлюваних джерел, особливо енергії вітру, яка у вітрових електричних установках (ВЕУ) перетворюється в електричну. Важливо, що очікуваний ефект від впровадження можливо досягти лише при ма-

совому використанні та впровадженні ВЕУ в тому числі в промисловості та побуті. Цікавим в цьому спрямуванні можуть бути підземні гірничі виробки шахт, де згідно технології ведення робіт постійно присутній штучно створюваний потік повітря з його сталими параметрами.

2. Мета досліджень

Розробка теоретичних аспектів та практичних рішень по використанню повітряного вентиляційного потоку підземних гірничих виробок залізорудних шахт для

отримання електричної енергії, шляхом створення автономного вітроенергетичного комплексу з автоматичною системою управління.

3. Матеріали досліджень

Для досягнення вищевикладеної мети була проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу (ВЕК) в умовах діючих підземних виробок залізрудних шахт, розроблена конструкція комплексу з вертикальною віссю обертання прямого перетворення енергії вітру в ЕЕ, синтезована його структура [1].

Для досягнення вищевикладеної мети була оцінена, проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичних комплексів (ВЕК) в умовах діючих підземних виробок залізрудних шахт (ЗРШ). Запропонована для подальших уточнень і досліджень первинна структура конструкції комплексу з вертикальною віссю обертання перетворення енергії вітру [2, 3].

Рівняння неперервності повітряного потоку з швидкістю u в змінних Ейлера має наступний вигляд (1) [4]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \text{div} \vec{u} = 0, \quad (1)$$

де $\text{div} \vec{u}$ — дивергенція вектора швидкості \vec{u} , $\rho(x, y, z, t)$ — густина, $\vec{u}(x, y, z, t)$ — швидкість руху газу.

Або в наступному вигляді (2):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho u_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z) &= 0, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \text{div} \vec{u} + (\vec{u} \text{grad} \rho) &= 0 \quad \text{або} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial \rho}{\partial x} u_x + \frac{\partial \rho}{\partial y} u_y + \frac{\partial \rho}{\partial z} u_z &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\text{grad} \rho$ — градієнт густини ρ .

Для умови нестисненості середовища (газу повітря) рівняння нерозривності має вигляд (3):

$$\text{div} \vec{u} = 0, \quad \text{так як} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0. \quad (3)$$

Для умови руху середовища, що встановився, рівняння нерозривності приймає наступний вигляд (4):

$$\begin{aligned} \text{div}(\rho \vec{u}) &= 0, \quad \text{так як} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad \text{або} \\ \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Рівняння руху (рівняння Ейлера) у векторній формі має наступний вигляд (5) [4, 5]:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} + (\vec{u} \nabla) \vec{u} = \vec{\sigma}_m - \frac{1}{\rho} \text{grad} p, \quad (5)$$

де $\vec{\sigma}_m$ — напруженість, p — тиск, ρ — густина, \vec{u} — швидкість, $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$ — оператор «набла».

Процеси аеродинаміки вітроагрегату описуються усередненими по Рейнольдсу рівняннями Нав'є-Стокса нестискуваного середовища (6):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} &= 0, \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_i)}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

де x_i , $i = 1, 2$ — декартові координати (x, y) ; t — час; u_j — декартові складові вектора середньої швидкості (u, v) ; p — тиск; ρ — густина; ν і ν_t — молекулярний і турбулентний коефіцієнти кінематичної в'язкості.

Як початкові умови задавалися параметри незбуреного потоку у всій розрахунковій області. На зовнішній межі застосовувалися граничні умови, для розрахунку яких використовувався метод характеристик. На поверхні твердого тіла враховувалась умова прилипання.

Рівняння руху в'язкого газу запишеться у вигляді рівняння Нав'є-Стокса у векторній формі (7):

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{\sigma}_m - \frac{1}{\rho} \text{grad} p + \nu \Delta \vec{u} + \left(\frac{\zeta}{\rho} + \frac{\nu}{3} \right) \text{grad} \text{div} \vec{u}, \quad (7)$$

при умові, що $\zeta = \text{const}$ і $\nu = \text{const}$, де $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ — кінематична в'язкість (коефіцієнт внутрішнього тертя), ζ — друга в'язкість, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \nabla^2 = \nabla \cdot \nabla$ — оператор Лапласа, $\vec{\sigma}_m$ — напруженість поля масових сил, ρ — густина, p — тиск.

Виходячи з результатів досліджень є підстави вважати, що потужність ВЕУ в умовах шахт залежить від її аеродинамічних умов [5].

Особливістю системи роботи ВЕК є те, що він є нелінійним нестационарним об'єктом управління і знаходиться під впливом динамічних вітрових навантажень, енергія яких має стохастичну природу [6].

В результаті була розроблена структура електро механічної частини ВЕК [7], основу якої складає асинхронний генератор з короткозамкнутим ротором, за допомогою регулювання частоти і вихідної напруги якого стабілізується рівень електроспоживання підключених до нього споживачів. Велике значення для забезпечення безперебійності електропостачання споживачів при аварійних режимах роботи і при видачі генератором ВЕК не номінального рівня напруги і частоти має акумуляторна батарея (АКБ).

Під час обертання вітрового колеса та валу генератора, мікроконтролер аналізує величину сигналів, що надходять до нього, і робить висновок про величину заданої напруги для блоків симісторів. До тих пір, доки ємність додаткових конденсаторів дозволяє регулювати величину вихідної частоти та напруги, ці параметри регулюються батареєю робочих конденсаторів. Якщо ж керування ємністю не приносить результату і частота та напруга продовжують зростати, то задана напруга подається на другу групу симісторів та підключає баластне навантаження, що регулює вихідну напругу та частоту.

Моделювання запропонованої моделі, яка побудована з використанням компонент теорії нечітких множин,

здійснено в середовищі Matlab 6.5 [8]. Результати моделювання представлені на рис. 1, а, б.

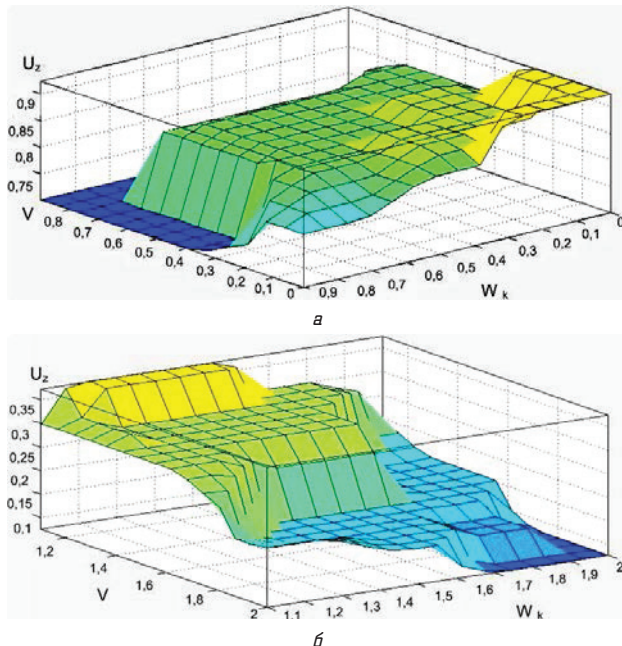


Рис. 1. Залежність напруги завдання: а — для БДК від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК; б — для БН від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК

Такий варіант програмування дозволяє системі керування реагувати на будь-які зміни в ланках БЕК і відповідно до цих змін регулювати вихідні параметри асинхронного генератора [9, 10].

Розроблена структура БЕК і система управління ним дозволяють збільшити надійність і якість електропостачання споживачів, збільшити термін служби батарей, забезпечувати своєчасні заміни елементів, що вийшли з ладу, і знизити витрати на їх експлуатацію, а також підтримувати безперерйність електропостачання споживачів ЕЕ.

4. Висновки

1. В результаті використання технологічних вентиляційних повітряних потоків підземних виробок залізрудних шахт, з перетворенням вітрової енергії в електричну є реальна можливість генерувати і використовувати електричну енергію для власних потреб підземних підприємств, заощадивши при цьому засоби на її закупівлю.

2. Розроблений спосіб управління вихідною напругою асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором в складі вітрового електротехнічного комплексу дозволяє плавно регулювати значення вихідного параметра, при цьому система буде відчувати найменші зміни швидкості вентиляційних потоків або величини навантаження.

3. Доведена економічна ефективність застосування вітроенергетичних комплексів в умовах підземних виробок залізрудних шахт.

Література

1. Сінчук, О. М. Про залежність енергетичних координат вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання від аеродинамічних умов [Текст] / О. М. Сінчук, С. М. Бойко,

М. А. Щербак // Технічна Електродинаміка. — Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». — Харків, Інститут Електродинаміки НАН України, 2012. — Частина 4. — С. 171–172.

2. Сенько, В. І. Математична модель системи керування електротехнічним комплексом вітроенергетичної установки на базі fuzzy контролера [Текст] / В. І. Сенько, С. М. Бойко, М. А. Щербак, А. О. Жуков // Електротехнічні і енергозберігаючі системи. — Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». — Кременчук, КрНУ, 2013. — Вип. 3. — С. 117–129.
3. Синчук, О. Н. Нечёткая логика и согласования режимов работы ветроэнергетической установки со скоростью потока в условиях рудных шахт «Технические науки — от науки к практике» [Текст] : материалы XIV международной заочной научно-практической конференции, 10 октября 2012 г. / О. Н. Синчук, С. Н. Бойко. — Новосибирск: Сибирская ассоциация консультантов, 2012. — С. 50–55.
4. Яворский, Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов [Текст] / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. — М.: Наука, 1971. — С. 134–269.
5. Праховник, А. В. Энергетический менеджмент [Текст] / А. В. Праховник, А. И. Соловей, В. В. Прокопенко и др. — К.: ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. — 470 с.
6. Wang, Q. An intelligent maximum power extraction algorithm for inverter-based variable speed wind turbine systems [Text] / Q. Wang, L.-C. Chang // IEEE Transactions on Power Electronics. — September 2004. — Vol. 19. — P. 1242–1249.
7. Nakamura, T. Optimum control of ipmsg for wind generation system [Text] / T. Nakamura, S. Morimoto, M. Sanada, Y. Takeda // Power Conversion Conference (PCC). — 2002. — Vol. 3. — P. 1435–1440.
8. Yanto, H. A. Modeling and control of household-size vertical axis wind turbine and electric power generation system [Text] / H. A. Yanto, T. L. Chun, C. H. Jonq, C. L. Sheam // Power Electronics and Drive Systems, 2009. PEDS 2009. International Conference. — Dept. of Mech. Eng., Nat. Taiwan Univ. of Sci. & Technol., Taipei, Taiwan, 2009. — 7 p. — DOI:10.1109/PEDS.2009.5385804.
9. Sreedhar, R. G. Modeling and power management of a hybrid windmicroturbine power generation system [Text] / R. G. Sreedhar // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical Engineering. — Bozeman, Montana: Montana State University, 2005. — 154 p.
10. Muller, S. Adjustable speed generators for wind turbines based on doubly-fed induction machines and 4-quadrant igtb converters linked to the rotor [Text] / S. Muller, M. Deicke, R.-W. De Docker // IEEE Industry Applications Conference. — October 2000. — Vol. 4. — P. 2254–2259.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АВТОНОМНОЙ УСТАНОВКИ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

Проанализирована специфика работы ветроэнергетического комплекса в условиях действующих подземных выработок железорудных шахт. Исследовано аэродинамические особенности вентиляционных потоков подземных выработок железорудных шахт и их влияние на работу ветроэнергетической установки. Разработана структура электромеханической части ветроэнергетического комплекса и система управления ним с прогнозируемым потенциалом надежности электроснабжения потребителей электрической энергии подземных выработок железорудных шахт.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, энергетический комплекс, экономическая эффективность, электромеханический ветроэнергетический комплекс.

Сінчук Олег Миколайович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою автоматизованих електромеханічних

систем в промисловості та транспорті, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна,
e-mail: speet@ukr.net.

Бойко Сергій Миколайович, аспірант, кафедра систем електро-споживання та енергетичного менеджменту, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського, Україна, **e-mail:** bsn1987@i.ua.

Синчук Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электро-

механических систем в промышленности и транспорте, ГБУЗ «Криворожский национальный университет», Украина.

Бойко Сергей Николаевич, аспирант, кафедра систем электропотребления и энергетического менеджмента, Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, Украина.

Sinchyk Oleg, State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Ukraine, **e-mail:** speet@ukr.net.

Boiko Sergey, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, **e-mail:** bsn1987@i.ua

УДК 332.3:625.711.1

Емець О. А.

КАДАСТРОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВІДВЕДЕННЯ ЗЕМЕЛЬ ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ

Представлено обґрунтування резервування територій для створення автомобільних транспортних коридорів. Визначено параметри смуг відведення автомагістралей з розміщенням природоохоронних заходів. Встановлено параметри придорожніх та резервних смуг автомобільних транспортних коридорів з врахуванням використання суміжних територій. Запропоновано організацію смуг відводу автомагістралей на основі функціонального зонування.

Ключові слова: автомагістраль, автомобільний транспортний коридор, смуга відводу, організація земель.

1. Вступ

Глобалізація економіки підштовхнула до зростання поточних процесів між країнами Європи, Азії та Африки, що визначило транспортну політику розвинутих держав, стратегічним напрямком яких став розвиток міжнародних транспортних коридорів (МТК), в т. ч. автомобільних [1–3]. Пріоритетним завданням України, для забезпечення національних та участі в розподілі міжнародних перевезень є розширення мережі автомобільних транспортних коридорів (АТК) за рахунок будівництва нових та реконструкції існуючих міжнародних автомобільних доріг державного значення (МАД).

При плануванні автотранспортної інфраструктури актуальними проблемами є забезпечення земельними ресурсами розвитку мережі АТК та мінімізація впливу автотранспорту на використання суміжних територій. Таким чином для реконструкції існуючих МАД під параметри міжнародних автомобільних транспортних коридорів (МАТК) та будівництва і подальшої експлуатації нових АТК необхідне кадастрове обґрунтування відведення та подальшого використання земель.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Сучасні вимоги до технічних параметрів автомагістралей викладені в офіційних документах по створенню АТК в країнах Європи та Азії [1–3], де нагальною проблемою є захист навколишнього середовища від руху автотранспорту. Вирішенню проблем екологічно збалансованого землекористування на придорожніх територіях присвячені праці науковців [4–6], в т. ч. впливу експлуатації об'єктів транспорту на використання земельного фонду [7–10].

Проте забезпечення земельними ресурсами будівництва та експлуатації АТК із впровадженням заходів захисту довкілля вимагає більш детального вивчення.

Метою проведених нами досліджень була розробка кадастрового обґрунтування для забезпечення земельними ресурсами створення та подальшого функціонування автомагістралей за напрямками АТК.

З аналізу наукових праць, статистичних даних відносно складу, використання земель під АТК в Україні і зарубіжного досвіду планування територій для використання в автодорожньому господарстві визначено наступні завдання при формуванні смуг відводу автомагістралей:

- запобігання забрудненню довкілля та негативному впливу на здоров'я населення внаслідок збільшення інтенсивності руху автотранспорту;
- обґрунтування обсягів резервування земель для будівництва та розвитку АТК;
- створення культурних ландшафтів на землях АТК.

3. Результати досліджень формування смуги відведення земель автомагістралей

Об'єктом дослідження є процес формування смуги відведення земель і подальшого їх використання при створенні та функціонуванні автомобільних транспортних коридорів.

Проаналізувавши вітчизняні та іноземні законодавчо-нормативні документи по проектуванню й плануванню автошляхів [1–3] можна зробити висновок, що смуги відведення АТК повинні виконувати дві основні функції:

- експлуатаційну, забезпечуючи безперебійний рух автотранспорту по проїжджій частині;